

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ OMP І COSAMP В ЗАДАЧІ ВІДТВОРЕННЯ ІМПУЛЬСНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ В СИСТЕМАХ З OFDM

Котляров В. В.; Шпилька О. О., к. т. н.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

Мультиплексування з ортогональним частотним розділенням каналу (OFDM) — найбільш популярна широкосмугова технологія в сучасних системах бездротового зв'язку. Оцінка характеристики каналу є невід'ємною частиною систем бездротового зв'язку з високою швидкістю передачі даних. По суті, це процес отримання інформації про стан каналу, яка потрібна для точної демодуляції даних. Точність оцінки поточного стану каналу має велике значення для систем з високою швидкістю передачі даних, в яких використовуються модуляції високих порядків, і є однією з ключових проблем в системах бездротового зв'язку на основі OFDM [1].

У більшості систем, побудованих за технологією OFDM, для оцінки стану каналу передбачені піднесучі з пілот-сигналами. Традиційні методи лінійної оцінки каналу [1], такі як метод найменших квадратів (LS) та мінімуму середньоквадратичної помилки (MMSE), вимагають великої кількості пілот-сигналів для відтворення достовірної інформації про стан каналу. Збільшення кількості пілот-сигналів, які не містять інформації, суттєво знижує ефективність використання спектра частот в системі.

Але вищезазначені традиційні методи оцінки не враховують той факт, що імпульсна характеристика каналу зв'язку завжди розріджена рис.1, тобто має багато нульових компонент і може бути представлена наступною формулою:

$$h(t) = \sum_{i=1}^L a_i \delta(t - \tau_i),$$

де: L — кількість домінуючих шляхів розповсюдження сигналу, a_i — комплексна амплітуда та τ_i — затримка i -го шляху в каналі.

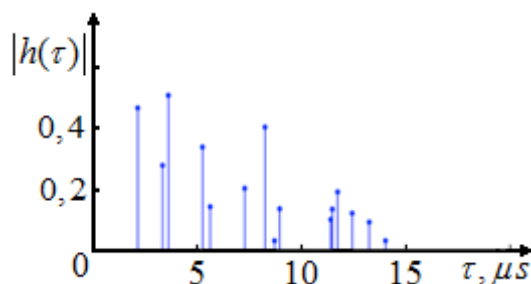


Рисунок 1. Розріджена імпульсна характеристика багатопроменевого каналу

Розріджена імпульсна характеристика означає, що в такому каналі є невелика кількість потужних променів a_1, a_2, \dots, a_L сигналу внаслідок відображення і розсіювання сигналу на шляху від передавача до приймача.

Методи, які найбільше підходять для відтворення розріджених

багатопробеневи каналів запропоновані в межах теорії розрідженої дискретизації (Compressed Sampling) [2]. Compressed Sampling — це новий підхід в теорії цифрової обробки сигналів, який постулює, що будь-який сигнал, який має розріджене представлення в деякому ортогональному базисі, може бути точно відтворений з вибірки меншої довжини, ніж це визначено відповідно до класичної теорії дискретизації [3].

Оскільки на стороні приймача відомі лише значення переданих пілот-сигналів $X_p \in \mathbb{C}^{N_p}$, кількість яких суттєво менша, ніж загальна кількість пінесучих в символі $N_p \in N$, відтворення повної імпульсної характеристики $h \in \mathbb{C}^N$ каналу є класичною зворотною задачею, що розглядається в теорії розрідженої дискретизації [2]. Відповідно до теорії розрідженої дискретизації, рішення такої неповної системи можна знайти за рахунок мінімізації l_1 норми:

$$\tilde{h} = \arg \min_{h \in \mathbb{C}^{N_p}} \|h\|_1, \text{ при обмеженні } \|Y_p / X_p - \hat{\Phi} h\|_2 \leq \varepsilon,$$

де: \tilde{h} — відтворена імпульсна характеристика каналу, Y_p — значення прийнятих пілот-сигналів, X_p — значення переданих пілот-сигналів, $\hat{\Phi}$ — ортонормальний базис Фур'є, ε — задана максимальна похибка відтворення.

В межах теорії розрідженої дискретизації були розроблені декілька ефективних алгоритмів відтворення первинного сигналу. Оскільки кожен з запропонованих алгоритмів має свої певні обмеження, актуальною є задача порівняння двох найбільш популярних Orthogonal Matching Pursuit (OMP) та Compressive Sampling Matching Pursuit (CoSaMP) в контексті оцінки характеристики багатопробеневого каналу зв'язку в системах з OFDM.

В процесі моделювання проводилось відтворення розрідженої імпульсної характеристики \tilde{h} багатопробеневого каналу зв'язку методами OMP і CoSaMP за невеликою кількістю пілот-сигналів N_p в OFDM символі. Ефективність алгоритмів оцінювалась за значенням середньо квадратичної помилки (MSE) відтворення імпульсної характеристики каналу:

$$MSE = \mathbb{E} \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |\tilde{h}_n - h_n|^2 \right],$$

де: $\tilde{h} \in \mathbb{C}^N$ — оцінена імпульсна характеристика каналу, h — ідеально відома імпульсна характеристика каналу, N — кількість відліків характеристики.

Моделювання проводилось для системи OFDM за стандартом ISDB-T, Mode 1, $GI=1/4$ [4] та багатопробеневого каналу зв'язку 2xTU6 [5] параметри якого приведені в таблиці 1. Максимальна кількість пілот-сигналів в од-

ному OFDM символі в цьому режимі дорівнює $N_p = 157$, а необхідна довжина відтворення імпульсної характеристики каналу зв'язку дорівнює $N = 2048$.

На рис. 2а приведена залежність MSE від відношення піднесуча / шум (CNR). Параметри каналу відповідали наведеним в таб.1. Кількість пілот-сигналів за якими проводилось відтворення $N_p = 157$. Результати моделювання показують приблизно однакову стійкість обох алгоритмів до шумів. CoSaMP дає трохи краще відтворення в малих шумах.

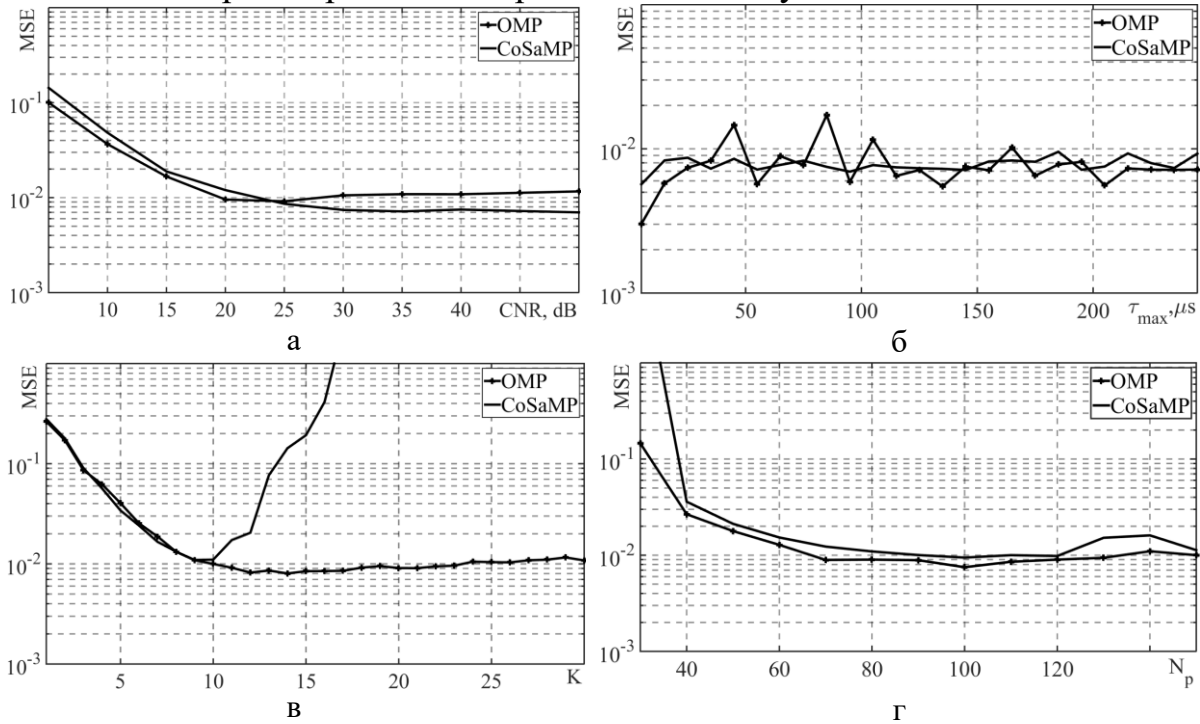


Рисунок 2. Результати моделювання ефективності відтворення імпульсної характеристики багатопромених каналів алгоритмами OMP і CoSaMP

На рис.2б приведена залежність MSE від часу затримки променів TU6 групи В таблиці 1. Кількість пілот-сигналів за якими проводилось відтворення $N_p = 157$. Відношення піднесуча / шум фіксоване на 20 дБ. Результати моделювання показують приблизно однакову середню точність відтворення. Але OMP дає менш стабільний результат, що можна пояснити “жадібною” природою алгоритму, яка не гарантує правильність кожного окремого відтворення.

Таблиця 1

Група	А						В					
Групова затримка, мкс	0						80					
Промінь	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
τ_i , мкс	0	0,2	0,5	1,6	2,3	5	0	0,2	0,5	1,6	2,3	5
Загальна затримка, мкс	0	0,2	0,5	1,6	2,3	5	80	80,2	80,5	81,6	82,3	85
Втрати, дБ	-3	0	-2	-6	-8	-10	-9	-6	-8	-12	-14	-16

На рис. 2в приведена залежність MSE від значення параметру K , що має дорівнювати кількості променів, які існують в каналі. Обидва алгоритми потребують цей параметр апіорі, але як видно з результатів симуляції, алгоритм CoSaMP значно чутливіший до невірної значення параметра K .

На рис.2г приведена залежність MSE від кількості пілот-сигналів N_p за якими проводилось відтворення імпульсної характеристики. Параметри каналу відповідали наведеним в таб.1 Відношення піднесуча / шум фіксоване на рівні 20дБ. Як видно з результатів симуляції, алгоритм OMP має незначну перевагу над CoSaMP, яка збільшується для малої кількості використаних пілот-сигналів N_p .

Висновки: Таким чином, методи оцінки імпульсної характеристики з врахуванням її розрідженої природи, здатні проводити оцінювання за суттєво меншою кількістю пілот-сигналів, в порівнянні з традиційними лінійними методами. Також необхідно відмітити те, що на відміну від OMP алгоритму, CoSaMP дуже чутливий до вірності параметра K , який в системах зв'язку зазвичай невідомий апіорі, до того ж може змінюватися з часом.

Перелік посилань

1. Proakis J.G. Digital communications / J.G.Proakis. — McGraw-Hill, New York, 1983
2. Candès E.J. Compressive sampling / E.J.Candès, — Proceedings of the international congress of mathematicians 2006, vol. 3, pp. 1433–1452
3. Oppenheim A. V. Discrete-time Signal Processing / A.V.Oppenheim, R.W.Schafer, — Prentice Hall, 2010
4. Uehara M. Transmission scheme for the terrestrial ISDB system / M.Uehara, M.Takada, T.Kuroda, — *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 45, no.1, pp. 101–106, Feb. 1999
5. 3GPP TR 25.943 v14.0.0 Technical specification group radio access network, Deployment aspects (release 14). www.3gpp.org, Feb. 2017.

Анотація

Розглянута ефективність застосування алгоритмів сучасної теорії розрідженої дискретизації для відтворення імпульсної характеристики багатопроменевих каналів зв'язку в системах з OFDM. Представлені результати статистичного моделювання двох найбільш популярних алгоритмів відтворення — OMP і CoSaMP.

Ключові слова: оцінка каналу, розріджена дискретизація, OFDM.

Аннотация

Рассмотрена эффективность применения алгоритмов теории разреженной дискретизации для восстановления импульсной характеристики многолучевых каналов связи в системах с OFDM. Представлены результаты статистического моделирования двух наиболее популярных алгоритмов восстановления — OMP и CoSaMP.

Ключевые слова: оценка канала, разреженная дискретизация, OFDM.

Abstract

The efficiency of algorithms from modern theory of compressed sampling in context of multipath channel impulse response reconstruction in OFDM based communication systems is considered. Presented statistical simulation results of two the most popular reconstruction algorithms — Orthogonal Matching Pursuit and Compressive Sampling Matching Pursuit.

Keywords: channel estimation, compressed sampling, OFDM.